

**Marie STARÁ<sup>1</sup>, Martina JANULÍKOVÁ<sup>2</sup>**

**EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ PŘEDPJTÉHO ZDIVA  
S POUŽITÍM KLUZNÉ SPÁRY**

**EXPERIMENTAL MEASUREMENTS OF PRESTRESSED MASONRY  
WITH USING SLIDING JOINT**

**Abstrakt**

Příspěvek se věnuje experimentálnímu měření deformací v místě lokálního namáhání zdiva od dodatečného předepnutí. Měření jsou prováděna na zděném rohu, který je postaven v laboratorním zařízení. Laboratorní zařízení bylo navrženo a vyrobeno na Stavební fakultě VŠB-TUO v ČR a je určené pro měření trojosé napjatosti zdiva. Do zdiva jsou vloženy dvě předpinací tyče umístěné v různých výškách a upevněny do kotevních desek, které slouží pro přenos předpinacích sil do zdiva. Zděný roh je proveden v poměru ke skutečnosti 1:1. V patě zdiva je vložena asfaltová lepenka. Ta působí ve zdivu jako kluzná spára a zajišťuje snížení smykového napětí v základové spáře zděných popř. betonových konstrukcí. Získané výsledky jsou porovnány s výsledky zdiva bez použití kluzné spáry včetně komentáře vlivu kluzné spáry na předpinání zděných konstrukcí.

**Klíčová slova**

Experimentální měření, deformace, předpinání, zdivo, kluzná spára.

**Abstract**

Contribution deals with experimental measurements of deformations in the place exposed to local load caused by additional pre-stressing. The measurements are made at the masonry corner built in the laboratory equipment. The laboratory equipment was designed at Faculty of Civil Engineering VSB – TU Ostrava for measurement tri-axial stress-strain conditions in masonry. In this masonry corner two pre-stressing bars are placed. These bars are in different height and are anchored to the anchor plates, which transfer pre-stressing forces to the masonry. The specimen for laboratory testing is performed in the proportion to the reality of 1:1. In the bottom part masonry is inserted asphalt strip. It operates in the masonry like a sliding joint and reduces the shear stress at interface between concrete and masonry structures. The results are compared with the results of masonry without the use of sliding joints, including comment on the effect of sliding joints on the pre-stressing masonry structures.

**Keywords**

Experimental measurements, deformations, pre-stressing, masonry, sliding joint.

**1 ÚVOD**

Metoda snižování smykových napětí v základových spárách aplikací reologické kluzné spáry je účinná a snadno proveditelná v praxi. Kluzné spáry jsou obvykle tvořeny nataveným či volně

---

<sup>1</sup> Ing. Marie Stará, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 596 991 375, e-mail: marie.stara@vsb.cz.

<sup>2</sup> Ing. Martina Janulíková, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 925, e-mail: martina.janulikova@vsb.cz.

položeným asfaltovým pásem na vyrovnávací betonové vrstvě, případně litým asfaltem či umělohmotnou fólií. Současné metody [1] návrhu kluzných spár jsou s ohledem na stále se vyvíjecí nové materiály již nedostačující a lze je použít pouze pro orientační výpočty. Správnost návrhu reologické kluzné spáry je podmíněna zejména znalostí mechanické odezvy asfaltového pásu při dlouhodobě působícím smykovém zatížení, protože ve většině případů má na konstrukce vliv především dlouhodobé přetváření.

V rámci výzkumu Studentské grantové soutěže VŠB-TU Ostrava je prováděno ověření vhodnosti pro kombinování sanačního opatření pomocí dodatečného předpínání zdiva a současně použití kluzné spáry ve zdivu.

Předpětí ve zdivu můžeme dosáhnout pomocí ocelových lan nebo táhel. Tyto ocelové prvky se vkládají do předem vyfrézovaných drážek, které mohou být při vnějším nebo vnitřním líci zdiva. Konce ocelových prvků se upínají do ocelových úhelníků nebo speciálních kotev. U těchto způsobů rekonstrukce je nutné dodržet postupy a technologie předpínání. Důležité je vhodně zvolit předpínací systém kotev, zvolit vhodné uspořádání a uložení předpínacích kabelů, určení postupu předpínání a stanovení velikosti předpínacích sil v jednotlivých kabelech.

V dostupné literatuře [2–10] můžeme nalézt, na základě provedených experimentů, doporučené hodnoty poměru předpínací síly a pevnosti zdiva v tlaku kolmo a rovnoběžně s ložnou spárou. Konkrétně v literatuře [4;5;6] jsou uvedeny hodnoty, které jsou dosaženy ve svislém řezu horizontálně předpjatého stěnového pásu.

Pro experimentální zkoušky zdiva byly postaveny dva zkušební vzorky. Pro přehlednost jsou označeny jako ZDIVO\_1 a ZDIVO\_2. Oba vzorky byly postaveny s použitím stejných materiálů, ale měly rozdílnou pevnost malty a tím i výslednou pevnost zdiva jako celku. Vzorek ZDIVO\_1 byl postaven bez použití asfaltové lepenky, zatímco zkušební vzorek ZDIVO\_2 byl postaven s vloženou asfaltovou lepenkou v patě zdiva, která představovala kluznou spáru ve zdivu. Použitým asfaltovým pásem je oxidovaný asfaltový pás s obchodním názvem IPA V60 S35 viz [11;12].

Předpínací síly v experimentálním měření deformací, popsáném v tomto příspěvku, jsou voleny bezpečně s ohledem na kvalitu vyplnění spár maltou jako 10 až 50 % pevnosti zdiva v tlaku kolmo na ložné spáry, které jsou dosaženy přímo pod kotevní deskou, což odpovídá přibližně 12,5 % napětí dosaženého ve svislém řezu horizontálně předpjatého stěnového pásu. Záměrem tohoto zkoušení, není pouze samotné měření deformací, ale také sledování chování zdiva v místě lokálního namáhání od postupně zvyšujícího se předpětí a v místě kluzné spáry.

## 2 PRINCIP MĚŘENÍ

### 2.1 Použitý materiál a jeho materiálové charakteristiky

Zařízení pro zkoušení trojosé napjatosti je ocelová konstrukce o rozměrech 900 x 900 x 1550 mm, která byla navržena a sestavena dle [13]. V této konstrukci je postaven zděný roh o výšce 870 mm. Tloušťka zdi je 440 mm, povrch zdiva byl neomítnutý. Použitými zdíciemi prvky jsou cihly CP 290x140x65, P15 a jako spojovací materiál byla použita vápenná malta, smíchaná s pískem v poměru 1:4.

Průměrná pevnost cihel v tlaku byla stanovena zkouškou dle normy [14] na hodnotu 12,87 MPa pro oba zkušební vzorky. Z této hodnoty je pak odvozená normalizovaná průměrná pevnost v tlaku zdíciho prvku  $f_b = 9,9$  MPa. Průměrná pevnost malty v tlaku byla normou [15] stanovena na hodnotu  $f_{m,1} = 0,77$  MPa pro vzorek ZDIVO\_1 a hodnota  $f_{m,2} = 0,351$  MPa pro vzorek ZDIVO\_2.

Testovaný zděný roh je uvažován jako část stávající konstrukce a proto při výpočtu charakteristické pevnosti zdiva v tlaku je postupováno podle normy [16] – Hodnocení existujících konstrukcí, která se odkazuje při stanovení pevnostních charakteristik na dříve platné normy, pro zdivo např. na již neplatnou přednormu [17]. Výsledná charakteristická pevnost zdiva v tlaku kolmo k ložným spárám pro vzorek ZDIVO\_1 je  $f_k = 1,663$  MPa a pro zkoušený vzorek ZDIVO\_2 je výsledná pevnost zdiva  $f_k = 1,366$  MPa.

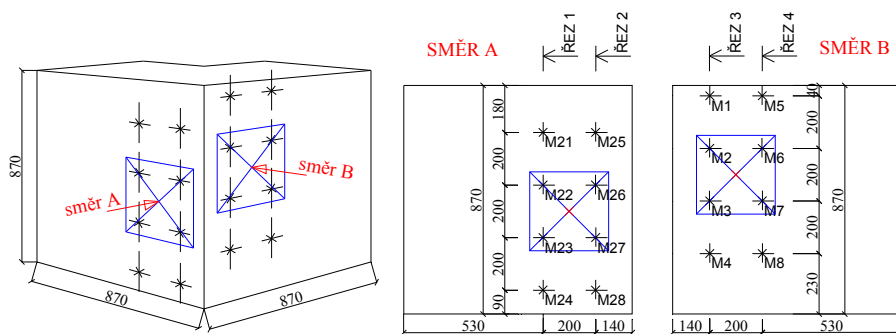
V průběhu zdění byly do zdiva vloženy dvě předpínací tyče v různých výškách a spáry byly doplněny maltou, viz obr. 1. Každá předpínací tyč byla označena dle směru, ve kterém byla kladena (směr A, směr B). Výškový rozdíl umístění čidel a předpínacích tyčí u obou zkoušených vzorků zdiva byl v rámci pouze jednoho centimetru, což lze považovat za zanedbatelný rozdíl. Ve směru A byla umístěna ve výšce 390 mm, ve směru B byla umístěna ve výšce 530 mm. Dle výrobce byly předpínací tyče typu HPT 26 z oceli 11 523 o průměru 26 mm, modul pružnosti  $185 \pm 10$  GPa. Tyče byly hladké bez drážek nebo jiných povrchových úprav. Po konečném vyzdění celého zděného rohu, byla horní část konstrukce vyrovnána vrstvou malty s ocelovou roznášecí deskou o tloušťce 12 mm. Na předpínací tyče se osadily ocelové kotevní desky na vrstvu malty pro vyrovnání povrchu zdiva.

## 2.2 Zatížení testovaných vzorků

Svislé zatížení bylo vnášeno pomocí hydraulického lisu, který se umístil mezi roznášecí deskou a I profilem přišroubovaným k laboratornímu zařízení. Vzorek byl zatížen svislým zatížením 0,1 MPa. Svislé zatížení bylo stanoveno na základě statického výpočtu rodinného domu v obci Staříč, jež byl z důvodu stávajících trhlin sanován dodatečným předepnutím v úrovni základů a úrovni ŽB věnců 1.pp a 1.np.

Předpínací síla byla vnesena do předpínacích tyčí rovněž pomocí hydraulických lisů přes kotevní desky o rozměrech 300 x 300 mm a tloušťce 10 mm a také kotevních desek 300 x 300 mm s tloušťkou 20 mm, které byly zkoušeny na obou vzorcích zdiva. Hodnoty předpínacích sil jsou uvedeny v tab. 1.

Měřené deformace byly zaznamenávány pomocí potenciometrických čidel upevněných k laboratornímu zařízení, označených dle připojení k měřicí stanici. V každém směru bylo upevněno celkem osm čidel, ve směru A čidla s označením M21 až M28 a ve směru B čidla s označením M1 až M8. Rozmístění jednotlivých čidel v obou směrech je patrné na obr. 1.



Obr. 1: Schéma rozmístění měřicích čidel ve směru A, ve směru B



Obr. 2: Zkušební vzorek ZDIVO\_2, detail kluzné spáry v patě zdiva

Vzorek byl zatěžován postupně předpínací silou o velikosti 10 % až 50 % z pevnosti zdiva v tlaku kolmo na ložné spáry, vždy nejprve ve směru B a poté ve směru A. Na zkušebním vzorku byly provedeny pouze dvě měření a to z důvodu eliminace chyb při měření, která by byla způsobena trvalou deformací vzorku.

V tab. 1 jsou uvedeny vstupní hodnoty zatížení zdiva. V prvním sloupci jsou uvedeny procentuální hodnoty, ve druhém a čtvrtém jsou hodnoty napětí v kotevní oblasti, odvozené z charakteristické pevnosti zdiva v tlaku kolmém na ložné spáry, ve třetím a pátém sloupci jsou uvedeny velikosti předpínacích sil, vnášených do zdiva přes kotevní desku o velikosti 300 x 300 mm. Plocha kotevní desky a také plocha zdiva pod kotevní deskou, se uvažovala bez oslabení otvorem, který byl ponechán pro průchod předpínací tyče, jelikož rozměry otvoru jsou v tomto případě zanedbatelné.

Tab. 1: Vstupní hodnoty pro předpínání zdiva, plocha kotevní desky  $A = 0.09 \text{ m}^2$

	<b>ZDIVO_1</b> ( $f_k = 1,663 \text{ MPa}$ )		<b>ZDIVO_2</b> ( $f_k = 1,366 \text{ MPa}$ )	
	Napětí [kPa]	Předpínací síla [kN]	Napětí [kPa]	Předpínací síla [kN]
<b>10 %</b>	166,3	14,97	136,6	12,29
<b>20 %</b>	332,6	29,93	273,2	24,59
<b>30 %</b>	498,9	44,90	409,8	36,88
<b>40 %</b>	665,2	59,87	546,4	49,18
<b>50 %</b>	831,5	74,84	683,0	61,47

### 2.3 Výsledky měření a jejich srovnání

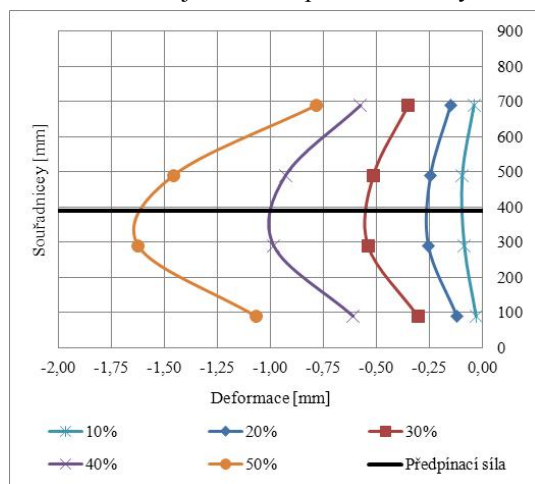
Průběhy výsledných deformací z měření, lze vidět na níže uvedených grafech (obr. 3 a obr. 10). Na x-ové souřadnici jsou uvedeny hodnoty deformací se záporným znaménkem od tlaku kotevní desky na zdivo. Výsledné deformace jsou získané zprůměrováním měření ve svislých řezech M21 ~ M24 a M25 ~ M28 ve směru A, M1 ~ M4 a M5 ~ M8 ve směru B. Na svislé ose jsou uvedeny výškové souřadnice umístění jednotlivých čidel dle obr. 1. Všechna čidla byla umístěna na cihlách popř. kotevních deskách, nikoliv však v maltové spáře. Vodorovná přímková v grafu označuje umístění předpínací síly.

Uvedené obrázky, obou zkušebních vzorků ZDIVO\_1 a ZDIVO\_2, představují stlačení kotevních desek a jejich okolí. Průběhy deformací kotevních desek s různou tuhostí ukazují, že v případě kotevní desky s tloušťkou 20 mm dochází k vyšším deformacím přímo pod kotevní deskou, ale také v jejím nejbližším okolí než v případě kotevní desky o tloušťce 10 mm. Důvodem chování kotevních desek je vyšší ohybová tuhost kotevních desek s tloušťkou 20 mm. Ohybová tuhost je závislá na tloušťce desky a poměr tuhostí obou použitých desek je 1:8.

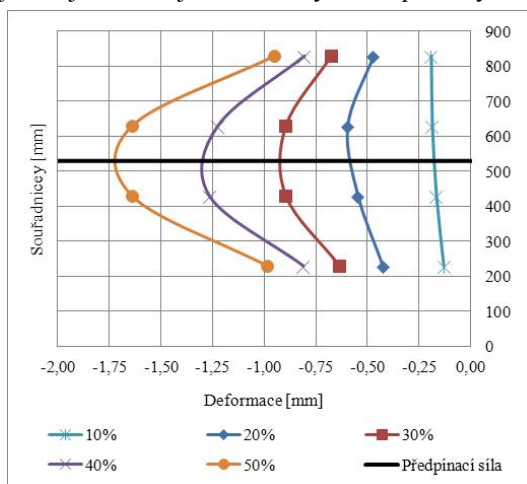
Jak je patrné z obr. 3 až obr. 6 tvar deformace zdiva v obou směrech, v místě předpínací tyče, odpovídá koncentraci napětí přímo pod kotevní deskou, zatímco nad a pod úrovní kotevní desky jsou deformace mnohem menší. Průběhy deformací jsou přibližně ve stejných odstupech pro jednotlivé velikosti předpínacích sil, především pak ve směru B.

Ke srovnání hodnot výsledných průběhů, ze zkušebního vzorku ZDIVO\_1 s deskou 300 x 300 x 10 mm (obr. 3 a obr. 4), v obou předpínacích směrech, dochází nad hranicí napětí odpovídající 50 % z pevnosti z tlaku kolmo na ložné spáry, která působí přímo pod kotevními deskami. Zatímco v případě vzorku s deskou 300 x 300 x 20 mm (obr. 5 a obr. 6), dochází ke srovnání hodnot výsledných deformací v obou směrech, již při napětí odpovídající 30 % a více z pevnosti z tlaku kolmo na ložné spáry působící přímo pod kotevními deskami.

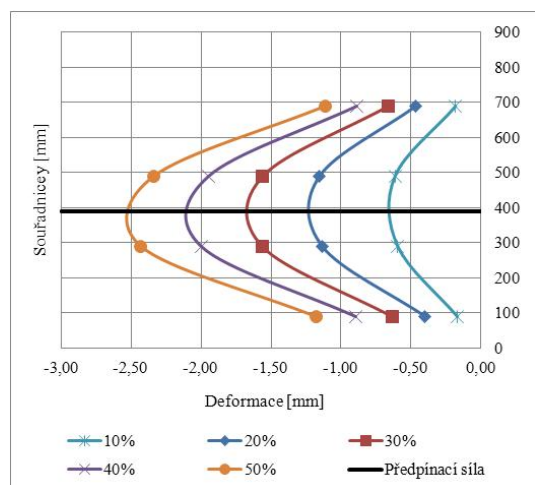
Na základě uvedených výsledků zkušebního vzorku ZDIVO\_1, lze tedy říct, že při použití kotevních desek s vyšší ohybovou tuhostí je zajištěno souměrnější zatížení od předpětí v obou směrech (již při nižších předpínacích silách) než v případě kotevních desek s nižší ohybovou tuhostí. Samozřejmě nesmíme opomenout výškové umístění předpínacích tyčí, velikosti ploch kotevních desek a samozřejmě modul pružnosti malty a cihel, jež mají rozhodující vliv na výsledné průběhy.



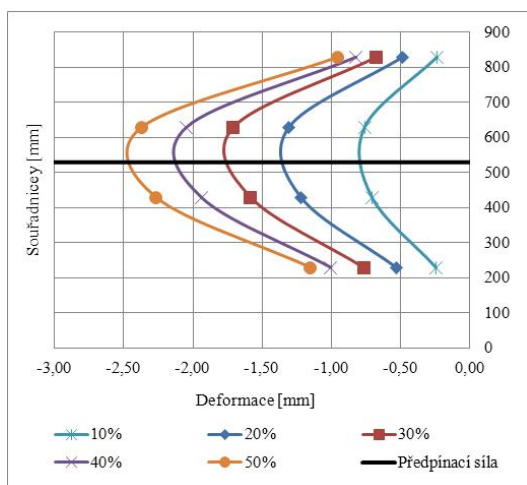
Obr. 3: Deformace ZDIVO\_1 ve směru A, kotevní deska 300 x 300 x 10 mm



Obr. 4: Deformace ZDIVO\_1 ve směru B, kotevní deska 300 x 300 x 10 mm



Obr. 5: Deformace ZDIVO\_1 ve směru A, kotevní deska 300 x 300 x 20 mm



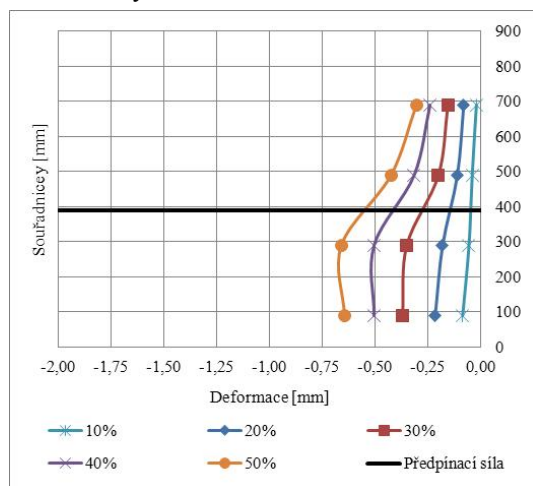
Obr. 6: Deformace ZDIVO\_1 ve směru B, kotevní deska 300 x 300 x 20 mm

Obr. 7 až obr. 10 tvar deformace zdiva v obou směrech, v místě předpínací tyče, odpovídá koncentraci napětí přímo pod kotevní deskou. Zatímco nad úrovní kotevních desek jsou deformace takřka zanedbatelné, v místě pod kotevní deskou a především v patě zdiva můžeme vidět vliv kluzné spáry na výsledné deformace.

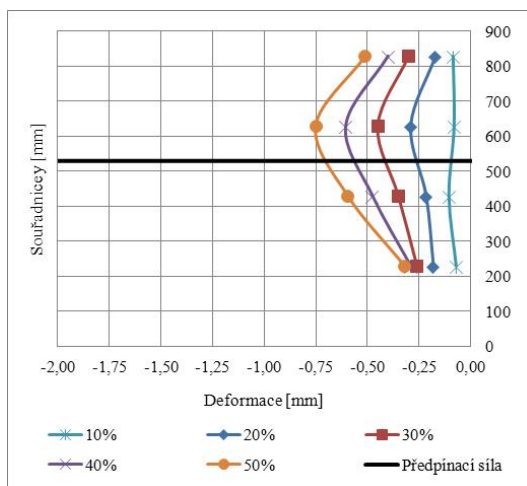
Významně se deformace projevují na obr. 7, kde je použita kotevní deska s nižší tuhostí a umístění předpínací tyče je 340 mm od kluzné spáry. V tomto místě lze vidět posunutí zdiva po asfaltové lepence současně se zvyšující se předpínací silou (shodné hodnoty v patě a v místě předpínací síly).

Při použití desky s větší tloušťkou, viz obr. 9, je pohyb zdiva po kluzné spáře rovněž významný, ale nedochází zde k posunu kotevních desek současně s kluznou spárou. Tyto posuny jsou menší než s deskou o menší tuhosti.

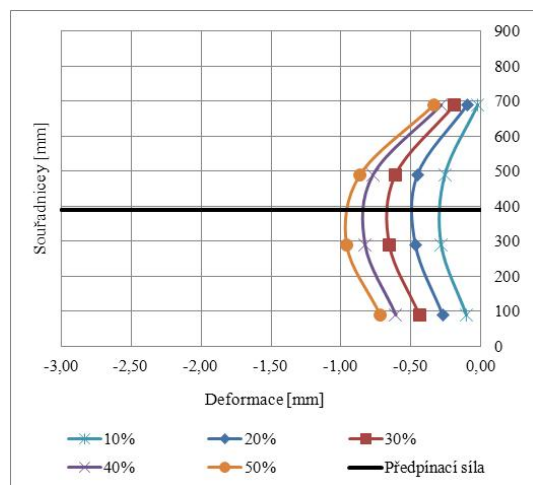
Vliv kluzné spáry zkušebního vzorku ZDIVO\_2 na směr B nebyl prakticky žádný. Můžeme tedy říct, že důležité pro kombinování sanačního opatření pomocí předpínání zdiva a použitím kluzné spáry, je především výškové umístění předpínacích tyčí a také tuhost použitého kotevního systému.



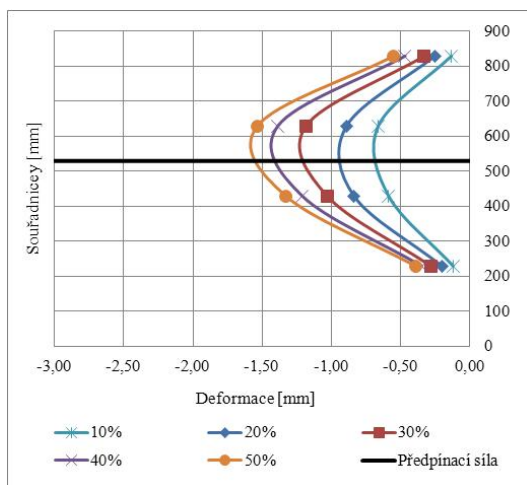
Obr. 7: Deformace ZDIVO\_2 ve směru A, kotevní deska 300 x 300 x 10 mm



Obr. 8: Deformace ZDIVO\_2 ve směru B, kotevní deska 300 x 300 x 10 mm



Obr. 9: Deformace ZDIVO\_2 ve směru A, kotevní deska 300 x 300 x 20 mm



Obr. 10: Deformace ZDIVO\_2 ve směru B, kotevní deska 300 x 300 x 20 mm

### 3 ZÁVĚR

Příspěvek se věnuje laboratornímu měření předpínaného zděného rohu. Simuluje tak případy zesilování a sanací zděných budov.

Srovnání výsledných deformací s použitím kotevních desek s různou tloušťkou desky, ukázalo rozdílné stlačení zdiva v místě kotevních desek u obou zkušebních vzorků. Tyto rozdíly byly způsobeny rozdílnou ohybovou tuhostí samotných desek a tím i eliminace deformace samotné kotevní desky při zatěžování předpínací silou.

Pro ověření hypotéz je potřeba provést měření předpínání zdiva s použitím desek s větší ohybovou tuhostí než doposud a provést srovnání s již získanými hodnotami, které jsou uvedeny v tomto příspěvku.

Výsledné posuny zdiva s použitím kluzných spár se liší v závislosti na použitém materiálu pro kluznou spáru a jejím umístění ve zdivu. Dále také výškovým umístěním předpínacího zařízení a tuhosti použitého kotevního systému. Podrobné měření kluzných spár jsou řešeny v rámci finanční podpory Ministerstva průmyslu a obchodu, program TIP projekt číslo FR-TI2/746 - Reologická kluzná spára s teplotně řízenými viskoelastickými vlastnostmi [18;19;20].

Cílem práce by mělo být využití softwaru, na bázi MKP, pro návrh nebo posouzení sanačních opatření poškozených zděných konstrukcí [21~29].

## PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění MŠMT, podporou specifického vysokoškolského výzkumu Studentské grantové soutěže VŠB-TU Ostrava pod identifikačním číslem SP2013/39.

## LITERATURA

- [1] ČSN 73 0039: *Navrhování objektů na poddolovaném území*. Praha: ČNI, 1989.
- [2] ČAJKA, R. Strengthening of Historical Structures on Flooded and Undermined Territory. *International Geotechnical Engineering, Saint Petersburg*. 17-19. September 2003, Russian, ISBN 5-93093-204-2.
- [3] ČAJKA, R. Lifetime Enhancement of Historical Structures on Flooded and Undermined Territory. *Integrated Lifetime Engineering of Buildings and Civil Infrastructures, and International Symposium ILCDES 2003*. 1-3. December 2003, Kuopio, Finland, ISSN 0356-9403, ISBN 951-758-436-9.
- [4] SCHUBERT, P.; HOFFMANN, G. Druckfestigkeit von Mauerwerk parallel zu den Lagerfugen. *Mauerwerk-Kalender 1994*, Ernst Sohn & Berlin 2004.
- [5] BAŽANT, Z.; KLUSÁČEK, L. *Statika při rekonstrukcích objektů*. VUT Brno, 2004.
- [6] KLUSÁČEK, L.; BAŽANT, Z. Předpínání staveb ve vztahu k podloží. *Sborník příspěvků 13. mezinárodního semináře 2008*, Ostrava 2008. VŠB-TU Ostrava 2008, s. 21 – 26. ISBN 978-80-248-1715-6
- [7] KOŠATKA, P.; LORENZ, K.; VAŠKOVÁ, J. *Zděné konstrukce 1*. ČVUT Praha, 2006
- [8] TERZIJSKI, I.; KLUSÁČEK, L.; BAŽANT, Z. a kol.: Stanovení deformačních charakteristik zdiva. *Stavební obzor 1/2012*, Fakulta stavební ČVUT, Praha, 2012, ISSN 1210-4027
- [9] ŠULÁK, P. Dlouhodobé sledování chování předpjaté konstrukce. *Sborník příspěvků 13. mezinárodního semináře 2008*, Ostrava 2008. VŠB-TU Ostrava 2008, s. 27 – 33. ISBN 978-80-248-1715-6
- [10] WITZANY, J.; ČEJKA, T.; ZIGLER, R. Stanovení zbytkové únosnosti existujících zděných konstrukcí. *Stavební obzor*. 2008, Číslo 9, Ročník 17. ISSN 1210-4027
- [11] DEHTOCHEMA BITUMAT, s.r.o.: *Technický list pro oxidovaný asfaltový pás IPA V60 S35*, dostupné z [www.dehtochema.cz](http://www.dehtochema.cz)
- [12] DEHTOCHEMA BITUMAT, s.r.o.: *Prohlášení o shodě pro oxidovaný asfaltový pás*, dostupné z [www.dehtochema.cz](http://www.dehtochema.cz)
- [13] MYNARZOVÁ, L. *Statická analýza konstrukcí zděných staveb*. Disertační práce 2009. VŠB-TU Ostrava 2009. ISBN 978-80-248-2064-4.
- [14] ČSN EN 1052-1: Zkušební metody pro zdivo. Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku. Český normalizační institut, 2000.
- [15] ČSN EN 1015-11: Zkušební metody malt pro zdivo. Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku. Český normalizační institut, 2000.
- [16] ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí. Český normalizační institut, 2005

- [17] ČSN P ENV 1996-1-1: Navrhování zděných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby. Pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce. Český normalizační institut, 1996.
- [18] ČAJKA, R., BURKOVIČ, K., GŘUNDĚL, V., JANULÍKOVÁ, M., MATEČKOVÁ, P., STARÁ, M.: *Temperature dependant slide joints for cracking elimination in concrete foundations*. The 7th Central European Congress on Concrete Engineering: Innovative Materials and Technologies for Concrete Structures, ISBN: 978-963-313-036-0
- [19] JANULÍKOVÁ, M., STARÁ, M.: *Viscoelastic behavior of asphalt belts at different temperatures in the sliding joint*. In Young Scientist 2013, The 5th PhD. Student Conference of Civil Engineering and Architecture, Herľany, Slovensko, ISBN: 978-80-553-1305-4
- [20] MATEČKOVÁ, P., JANULÍKOVÁ, M., STARÁ, M.: *Aplikace reologické kluzné spáry v základové konstrukci na poddolovaném území*. 19. Betonářské dny 2012, Kongresové centrum ALDIS, Hradec Králové, 2012, ISBN: 978-80-87158-32-6
- [21] ČAJKA, R.; KALOČOVÁ, L. Modeling and Analysis of Post – Tensioned Masonry. *The eleventh International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*. 18-21. September 2007, St. Julian, Malta 2007, ISBN 978-1-905088-17-1.
- [22] ČAJKA, R.; KALOČOVÁ, L. Progressive approach to the analysis of post-tensioned masonry structures using FEM. In *EngOpt 2008 - International Conference on Engineering Optimization*. Rio de Janeiro 1-5. Juni 2008. Ed. J. Herkovitz, A. Canelas, H. Cortes, M. Aroztequi, 2008. ISBN 978-85-7650-152-7.
- [23] ČAJKA, R.; MATEČKOVÁ, P.; MYNARZOVÁ, L.; STARÁ, M. Analysis of tri-axial stress-strain conditions of pre-stressed masonry corner. In: *Proceedings of 5<sup>th</sup> International Conference on Reliable Engineering Computing (REC 2012)*, June 2012, Brno, ISBN: 978-80-214-4507-9.
- [24] ČAJKA, R.; MATEČKOVÁ, P.; STARÁ, M.; JANULÍKOVÁ, M. Testing of pre-stressed masonry corner for tri-axial stress-strain analysis, *The 3<sup>rd</sup> International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering* October 2012, Vienna
- [25] HAACH, V. G.; VASCONCELOS, G.; LOURENCO, P. B. *Parametrical study of masonry walls subjected to in-plane loading through numerical modeling*. Engineering Structures, April 2011, ISSN: 01410296, DOI: 10.1016/j.engstruct.2011.01.015
- [26] MATERNA, A.; BROŽOVSKÝ, J. Constitutive model for two-dimensional modeling of masonry. In *proceedings of the Eleventh International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing 2007*, Malta 2007.
- [27] STARÁ, M., JANULÍKOVÁ, M.: Laboratory testing of pre-stressed masonry. In Young Scientist 2013, The 5th PhD. Student Conference of Civil Engineering and Architecture, Herľany, Slovensko, ISBN: 978-80-553-1305-4
- [28] MILANI, G.; LOURENCO, P. B.; TRALLI, A. *Homogenized limit analysis of masonry walls, Part II: Structural examples*. Computers and Structures. January 2006, ISSN: 00457949, DOI: 10.1016/j.compstruc.2005.09.004
- [29] ZUCCHINI, A.; LOURENCO, P. B. *A micro-mechanical model for the homogenization of masonry*. International Journal of Solids and Structures. Juni 2002, DOI: 10.1016/S0020-7683(02)00230-5

#### **Oponentní posudek vypracoval:**

Prof. Ing. Jaroslav Halvonik, PhD., Katedra betonových konstrukcí a mostov, Stavebná fakulta, STU v Bratislave.

Doc. Ing. Zdeněk Bažant, CSc., Ústav betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební, VUT v Brně.